

# Structure arborescente pour le raffinement progressif en radiosité hiérarchique

Jérémie TURBET (JeT) - François SILLION

iMAGIS/GRAVIR/IMAG <sup>1</sup>

Jeremie.Turbet@imag.fr

Francois.Sillion@imag.fr

**Résumé :** *Le raffinement en radiosité hiérarchique est la détermination des zones d'intérêt dans l'illumination globale d'une scène. C'est un problème central qui reste encore mal traité car il couvre de nombreux domaines de recherche. L'algorithme de raffinement est une composition de multiples critères simples portant sur la géométrie, la répartition énergétique et la visibilité à l'intérieur de la scène. La création de nouveaux algorithmes de raffinement est complexe à cause des nombreux cas particuliers rencontrés au cours du processus de raffinement. Nous proposons dans cet article une structure arborescente facilitant la génération de critères de raffinement, basée sur une décomposition du processus en outils simples. Cette structure possède de nombreux avantages avec une perte de temps minime.*

**Mots-clés :** Radiosité, Raffinement, Eclairage, Illumination globale.

## 1 Introduction

Les équations de radiosité existent depuis les années 30, mais ont été appliquées à l'informatique seulement depuis 84. L'algorithme de radiosité est resté très longtemps un sujet de recherche fondamentale. Gr ce à de récents avancements, il existe aujourd'hui des applications industrielles et l'intérêt pour cette technique est grandissant. Le raffinement progressif en radiosité hiérarchique est le coeur de l'algorithme, il est le critère qui doit déterminer si la solution de radiosité est une estimation valable ou non. Les critères existants ne sont satisfaisant que dans des cas précis, et sont difficilement contrôlables, il est donc nécessaire de trouver de nouveaux critères plus généraux pour rendre la radiosité utilisable. Les critères de raffinement sont composés d'un vaste ensemble d'outils de base, l'interpénétration de ces outils rend la conception d'un critère difficile. Nous proposons une classification des outils permettant de les séparer en domaines simples, chaque outil étant une entité questionnée sur son domaine, ayant un ensemble de réponses fini. Le processus de raffinement peut ainsi se représenter sous forme d'une discussion entre le critère de raffinement et un ensemble d'outils. La représentation informatique utilisée est une structure arborescente ayant un grand nombre d'avantages à la fois au niveau de l'évolutivité de la technologie, mais aussi au niveau de la facilité d'utilisation et de la génération de nouveaux critères. Cette structure est validée au niveau du temps d'exécution par comparaison à des critères existants, et au niveau de la souplesse par la génération rapide de nouveaux critères. De plus la structure fixée permet d'envisager de nouveaux concepts de création semi-automatique de critères.

### 1.1 L'algorithme de radiosité

La radiosité est un algorithme qui permet de calculer une estimation des échanges radiatifs entre différents milieux diffus. La gamme de longueur d'onde utilisée dépend de l'application pour laquelle on l'utilise. Initialement cette technique à été utilisée en thermodynamique pour calculer les échanges thermiques dans une enceinte close, essentiellement pour des problèmes de répartition de chaleur [HS67]. En utilisant des longueurs d'ondes dans le spectre visible ou dans la gamme de fréquences audible, nous obtenons respectivement un algorithme d'éclairage

---

<sup>1</sup>iMAGIS est un projet commun INRIA/CNRS/UJF/INPG iMAGIS/GRAVIR/IMAG  
INRIA Rhône-Alpes  
655 avenue de l'Europe (ZIRST)  
38330 Montbonnot Saint Martin

global ou d'environnement sonore [TG97]. Les premiers algorithmes d'éclairage global ont été indépendamment introduits par [GTGB84] en 84 et [NON85] en 85.

## 1.2 Définition mathématique

L'équation de radiosité semble avoir été introduite par [Yam26] et [Buc27] un peu avant les années 30. On peut décrire l'équilibre des échanges radiatifs par une équation intégrale exprimant la radiosité en chaque point :

$$B(x) = E(x) + \rho(x) \int_y B(y) F(x, y) V(x, y) \delta y \quad (1)$$

- $E$  est l'émittance propre au point  $x$
- $\rho$  est la réflectance diffuse en  $x$
- $F$  un facteur d'orientation relative entre  $x$  et  $y$
- $V$  la visibilité entre  $x$  et  $y$

Gr ce à une méthode de résolution par éléments finis, [Hig34] formalisa en 1934 une méthode de calcul d'éclairage qui ne fut pas utilisée faute de puissance de calculs.

## 1.3 Radiosité progressive

La radiosité progressive est la première solution trouvée pour résoudre l'équation de radiosité. Elle se base sur une représentation de la scène en éléments finis (discrétisation de la scène en éléments de surface), chaque élément de surface possédant une radiance propre uniforme. La solution de radiosité devient une approximation linéaire par morceaux de la solution réelle. Itérativement, chaque élément de surface r emet une partie de son énergie vers la totalité des autres éléments de surface, jusqu'à stabilisation du système. Cet algorithme pose beaucoup de problèmes informatiques :

- La complexité est en  $O(n^2)$  ou  $n$  est le nombre de surfaces, ce qui le rend inapplicable pour des scènes réelles de grosse taille (plusieurs millions de polygones).
- Les éléments de surface doivent être assez petits pour visualiser des ombres fines, ce qui complexifie la modélisation et augmente la taille des scènes.
- Chaque calcul d'échange énergétique demande l'évaluation d'un facteur de visibilité très coûteux en temps de calcul.

## 1.4 Radiosité hiérarchique

Le problème majeur de la radiosité progressive est le choix de la taille des éléments de surface, leurs bords doivent suivre les limites d'éclairage et leur taille doit dépendre de la variation de la fonction de radiance. Pour résoudre ce problème, [HSA91] introduit une hiérarchisation de la représentation des éléments de surface, éliminant ainsi la rigidité d'éléments de taille fixe. Les échanges radiatifs sont estimés entre deux éléments de surface. Le critère détermine si la représentation uniforme de la radiosité sur les éléments est une approximation acceptable et il décide de subdiviser un élément ou non. Les échanges d'énergie sont symbolisés par des "liens" qui portent l'énergie d'un émetteur sur un récepteur à un niveau hiérarchique donné. La radiosité hiérarchique réduit les problèmes de modélisation de la scène car il n'est plus nécessaire de prendre en compte la répartition énergétique au cours de la modélisation. De plus, elle limite le nombre d'évaluations de facteurs de visibilité, réduisant les temps de calcul. Par contre la complexité reste en  $O(n^2)$ , ce qui conserve la limitation de cette technique à des scènes de faible taille.

## 1.5 Groupement d'éléments

Rapidement la notion de hiérarchie appliquée aux surfaces à été étendue à la notion de volume [KJW93, Sil94, SAG94]. L'idée est de regrouper un ensemble de surfaces proches dans un même volume ("cluster") pour calculer l'échange radiatif à ce niveau. Typiquement un groupe de petits objets très éloignés d'une source recevront de l'énergie de façon uniforme de cette source. Cette représentation complètement hiérarchique des scènes à traiter permet d'obtenir un algorithme en  $O(n \log(n))$ . Par contre le choix de regroupement des éléments ("clustering") n'est pas trivial, et reste un sujet de recherche à part entière [HDS99].

## 1.6 Raffinement

La radiosité hiérarchique et le regroupement d'éléments permettent de traiter des scènes complexes, et ouvrent la porte aux applications industrielles. Le cœur de l'algorithme de radiosité est l'heuristique de décision de la subdivision des éléments hiérarchiques. Il faut décider d'une heuristique adaptée aux besoins de l'application. Par exemple une application de simulation d'éclairage nécessitera un oracle qui permet de garantir une erreur énergétique minimale, alors qu'un décorateur d'intérieur préférera une image moins exacte mais visuellement plus séduisante. Nous proposons dans la suite une structuration du processus de raffinement qui facilite la génération de multiples critères.

## 2 Le raffinement progressif

La radiosité hiérarchique permet le contrôle de la précision de la solution calculée. Si l'erreur par rapport à la solution réelle est jugée trop importante, le raffinement de ce lien va permettre de réduire l'erreur. La difficulté réside dans la décision de raffiner ou non. Ce processus doit faire tendre l'approximation linéaire par morceaux de la radiosité vers la solution idéale. Si l'on connaissait la différence entre ces deux solutions il serait trivial de résoudre ce problème, hélas cette erreur n'a pas d'expression simple à l'heure actuelle. Les recherches sur la radiosité portent, entre autres, sur l'heuristique du processus de raffinement nommé "critère de raffinement". En général, elles tendent à trouver une approximation de cette erreur. Un premier ensemble de critères suppose que l'erreur commise sur un élément hiérarchique est proportionnelle à l'irradiance qu'il reçoit. Le plus simple critère est un seuil sur cette irradiance, il se nomme "critère BF" [HS90, HSA91]. Il a l'avantage d'être très facile à utiliser, par contre il n'est pas stable à un changement d'échelle de la gamme d'intensité utilisée car la valeur du seuil est absolue et ne dépend pas de la radiosité moyenne de la scène. Une deuxième catégorie de critère consiste à trouver une borne ou un encadrement de l'erreur commise [HS98, SAS92], ces calculs sont plus précis et donnent de meilleurs résultats, mais ceci a un surcoût de temps très important. La troisième catégorie estime l'impact du raffinement sur la totalité de la solution [HSD94, LSG94], le coût en temps étant aussi très important.

### 2.1 Problématique

Un critère de raffinement est composé de différents facteurs de natures différentes. Typiquement la subdivision doit être plus importante le long de limite d'ombre et dans des zones où la variation de radiosité est importante. Ces deux facteurs sont presque indépendants et peuvent être traités séparément. Le nombre de facteurs semble assez faible, voici ceux qui nous semblent discriminants :

- Visibilité : les plus forts gradients d'une solution de radiosité se situent fréquemment au niveau des ombres résultantes d'un ou plusieurs occulteurs.
- Energie : dans un contexte de visibilité totale, la répartition de l'énergie sur un élément de hiérarchie dépend de la distribution de l'émittance de la source et de la géométrie relative aux deux éléments.

- Temps : des recherches en cours utilisent la radiosité en quatre dimensions afin d'intégrer la notion d'animation [DS99]. Le critère de subdivision ne se contente pas d'être spatial mais aussi temporel.

## 2.2 Oracle de raffinement

L'oracle de raffinement est l'heuristique qui décide si la répartition de l'énergie transférée de l'émetteur sur le récepteur est suffisamment uniforme pour être représentée par une valeur de radiosité constante. Selon sa décision il va conserver ce lien à ce niveau hiérarchique ou subdiviser un des éléments pour tenter d'établir des liens à un niveau inférieur. L'oracle peut utiliser plusieurs critères de raffinement selon le cas dans lequel il juge se trouver, il peut se représenter sous forme d'un sélecteur de critères. Les critères utilisés et l'ordre dans lesquels ils vont être employés sont dépendant de l'application et des résultats à obtenir. Un oracle destiné à une simulation d'éclairage d'intérieur cherchera une image de grande qualité visuelle et une solution énergétique relativement approximée, là où un calcul scientifique d'éclairage imposera une erreur énergétique minimale sans se soucier de la qualité des ombres. Pour prendre en compte l'ensemble des critères possibles au sein d'un oracle, nous allons représenter le processus de raffinement comme une "discussion" entre l'oracle et une collection d'outils. L'oracle pose une question à un outil, et prend une décision en fonctions de sa réponse (Fig. 1). Les décisions possibles sont :

- Poser une question à un nouvel outil.
- Etablir un lien à ce niveau hiérarchique.
- Subdiviser un des éléments hiérarchiques.

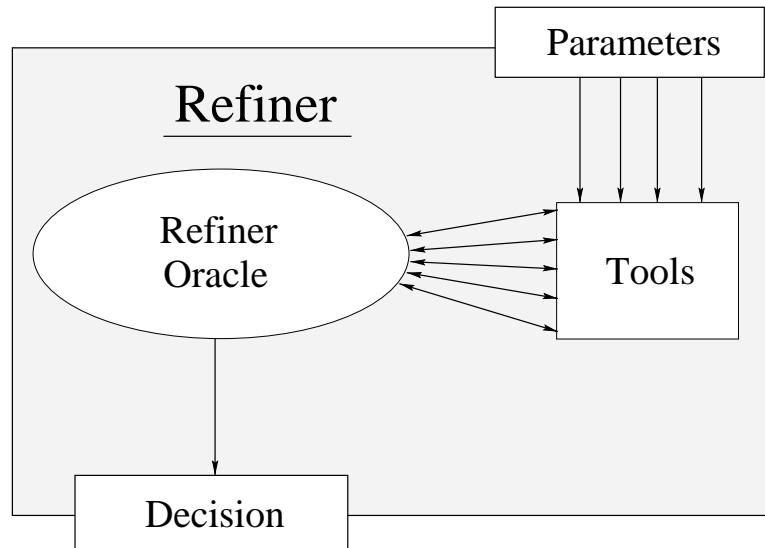


FIG. 1: Structuration du processus de raffinement en discussion entre outils et oracle.

Pour que l'utilisateur puisse influencer la discussion dans une direction qu'il privilégie, il peut modifier les paramètres des outils. Ces paramètres sont le média de communication entre le processus de raffinement et l'utilisateur.

## 3 Outils de raffinement

Les outils sont les briques essentielles à la construction du processus de raffinement, ils possèdent tous la même structure générale et doivent répondre à une question simple ou exécuter une action basique. Ils existe deux types de réponses possibles :

- Les réponses précises : ce sont les réponses attendues à la question après la réussite de l'exécution de l'outil. Par exemple, pour un outil qui demande une classification de la visibilité, les réponses peuvent être "la visibilité est totale entre les deux" ou "la visibilité est nulle" ...
- Les réponses évasives : c'est l'ensemble des réponses qui indiquent qu'une réponse précise n'a pas pu être trouvée. Par exemple un outil peut répondre "je ne sais pas faire du tout", "c'est trop compliqué" ou encore "ca va prendre trop de temps"...

Les outils sont classifiés en deux grandes classes : ceux qui répondent à une question et ceux qui exécutent des commandes. A l'intérieur de chacune de ces classes, les outils sont regroupés par spécialités.

### 3.1 Outils d'interrogation

Les outils d'interrogation sont les outils qui répondent à une question, ils forment le corps de la discussion et permettent à l'oracle de prendre sa décision. Nous avons distingué trois types d'outils d'interrogation.

#### 3.1.1 Outils énergétiques

Les outils énergétiques répondent à toute question concernant l'échange radiatif du lien en cours de raffinement. Ils peuvent par exemple déterminer si l'énergie du lien est suffisante, si l'apport d'énergie est visuellement discriminant, etc. La figure 2 montre un exemple de répartition non uniforme sur le récepteur du à la disposition des éléments et de leur énergie, c'est un cas que des outils énergétiques spécialisés peuvent tenter de déterminer.

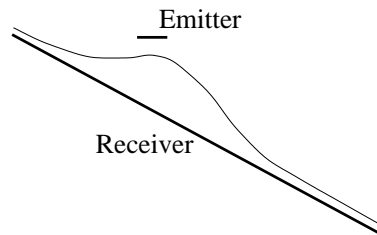


FIG. 2: Exemple de cas de répartition de l'énergie non uniforme à déterminer par un outil énergétique.

Dans cet exemple, il est possible de créer une multitude d'outils pour résoudre ce problème :

- Echantillonnage : prendre un certain nombre d'échantillons sur le récepteur et/ou l'émetteur et calculer pour chaque paire d'échantillon un échange énergétique point à point. En fonction de la distribution des valeurs énergétiques répondre à la question par "la répartition est homogène" ou "la répartition est hétérogène".
- Disposition relative : comparer l'échelle de l'énergie émise au niveau du récepteur à la taille du récepteur. Une source très étendue aura une répartition énergétique uniforme sur un récepteur de taille inférieure.
- Calcul du gradient : calculer, estimer ou borner le gradient de la fonction de radiosité sur le récepteur de façon à vérifier qu'il ne dépasse pas une certaine valeur.
- ...

#### 3.1.2 Outils de visibilité

Les outils de visibilité doivent permettre de caractériser la visibilité entre deux éléments. Ils peuvent avoir deux actions, combinées ou dissociées :

- Classification de la visibilité : déterminer sans calculer de valeur numérique quelle est la classe de la configuration des deux éléments. Par exemple déterminer si la visibilité est totale, partielle ou nulle.
- Evaluation de la visibilité : estimer le facteur de visibilité entre les deux éléments, c'est à dire la proportion d'émetteur visible depuis le récepteur.

Nous avons défini 6 classes majeures de visibilité :

- Inconnue : l'outil ne peut pas donner de réponse pour une raison quelconque.
- Totale : il n'y a aucun obstacle entre l'émetteur et le récepteur. Le facteur de visibilité vaut 1.
- Nulle : aucun point de l'émetteur n'est visible de n'importe quel point du récepteur. Le facteur de visibilité vaut 0.
- Partielle : un ou plusieurs obstacles limitent le champ de visibilité du récepteur vers l'émetteur. Le facteur de visibilité est compris entre 0 et 1, suivant une probabilité de type gaussienne.
- Complexe : l'outil arrive à ses limites de discrimination de classification de visibilité, il semble exister une configuration d'obstacles qui demande une résolution par un outil plus précis. Le facteur de visibilité suit une loi probabiliste très proche de l'uniformité entre 0 et 1.
- Trop complexe : la configuration des obstacles ne pourra pas être définie de manière précise sans perte de temps inutile. La réponse est la même que *Complexe*, avec la nuance que les limites des algorithmes actuels de visibilité sont atteintes. Seuls les outils les plus perfectionnés peuvent répondre de cette manière. Il s'agit d'un échec de la classification de visibilité, d'autres critères vont devoir être utilisés pour estimer l'opportunité du raffinement.

### 3.1.3 Outils géométriques

Les outils géométriques et les outils énergétiques sont parfois difficilement dissociables, car l'évaluation de l'échange radiatif dépend de la géométrie. Toutefois les outils géométriques doivent résoudre les problèmes qui n'utilisent pas la notion de flux d'énergie entre l'émetteur et le récepteur. Ce sont par exemple des problèmes de surface auto-intersectantes, de cônes de normales, etc. Ils sont utiles pour garantir l'utilisation des autres outils dans des conditions particulières. Par exemple il est impossible de calculer le facteur de forme entre deux surfaces auto-intersectantes (Fig. 3), il convient donc d'appeler l'outil de calcul de facteur de forme uniquement dans le cas où un objet géométrique de discrimination d'auto-intersection a répondu par la négative.

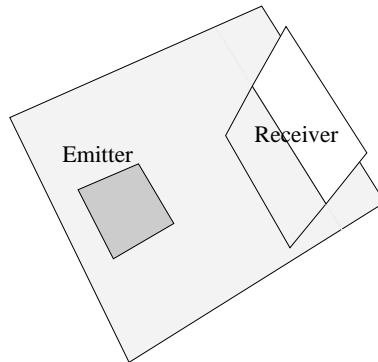


FIG. 3: Exemple d'outil géométrique déterminant un cas d'intersection des plans supports.

## 3.2 Outils d'action

Les outils d'action sont des outils particuliers qui exécutent une action, par exemple, subdiviser l'élément hiérarchique récepteur du lien en cours de raffinement. Il existe deux catégories d'outil d'action :

### 3.2.1 Outils de décision

Ce sont les réponses possibles que l'oracle de décision peut prendre, ces outils doivent toujours se situer à la fin de la discussion.

- Etablissement de lien : c'est la décision prise lorsque l'oracle estime que la représentation de la radiosité de l'émetteur sur le récepteur est suffisamment uniforme.
- Subdivision : lorsque la répartition de l'énergie n'est pas uniforme, il convient de subdiviser un des éléments hiérarchique pour diminuer l'erreur totale de la scène et s'approcher de la solution idéale. Le choix de l'élément à subdiviser (l'émetteur ou le récepteur) est aussi une des décisions de l'oracle de raffinement.
- Destruction de lien : un lien peut être détruit si l'oracle juge qu'il n'est plus discriminant dans la solution de radiosité.

### 3.2.2 Outils de commande

Les outils de commande sont des ordres que l'oracle peut imposer au cours de la discussion, ils peuvent servir pour marquer un élément, pour imprimer des informations sur le cours de la discussion, etc. Ils sont annexes à la discussion et doivent pouvoir être ajoutés ou enlevés sans changer la discussion. Ce sont essentiellement des outils de débogage, de visualisation ou d'optimisation. Par exemple un outil très pratique est l'outil de marquage, les éléments hiérarchiques extrémités du lien en traitement sont marqués, ce qui permet de visualiser l'ensemble des éléments qui ont été traités en répondant à une série de questions.

## 4 Structure arborescente de l'oracle de raffinement

L'oracle de raffinement pose des questions aux outils, en fonction des réponses qu'il obtient, il pose de nouvelles questions pour aboutir finalement à une décision. L'ensemble des questions posées et la décision forment une discussion. Nous proposons de représenter l'ensemble des discussions possibles par une structure de graphe où chaque noeud est une question, chaque arc une réponse et chaque feuille une décision (Fig .4). Nous appelons ce graphe représentant l'oracle de raffinement "graphe de décision".

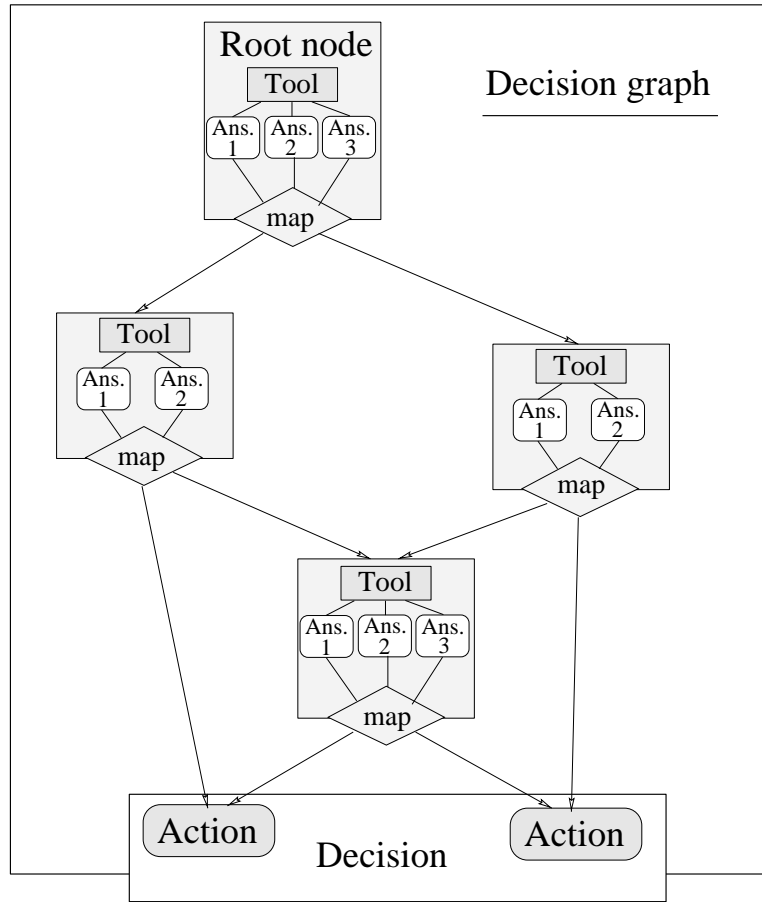


FIG. 4: Structure arborescente du graphe de décision.

Le graphe ne doit pas comporter de cycles, ceci pourrait créer un processus de raffinement infini. Le graphe est donc un graphe directionnel sans cycle, nommé plus couramment sous le terme anglophone de "Directed Acyclic Graph" (DAG).

#### 4.1 Gestionnaire de données

Au cours d'une discussion il est fréquent que différentes questions aient besoin de données communes, par exemple, l'axe principal entre le récepteur et l'émetteur est utilisé pour des outils géométriques (orientation relative des éléments), énergétiques (estimation du facteur de forme) ou de visibilité (direction principale de répartition de rayons de visibilité). Or la modularité des outils empêche la discussion entre eux, chaque outil devant pouvoir répondre à une question ou effectuer une action, sans à-priori sur l'environnement qui l'entoure. Puisque le partage de données n'est pas naturel par la structure de DAG utilisée mais est nécessaire pour éviter les redondances, nous recourons à un gestionnaire de données qui est un média entre les outils. Ce gestionnaire permet de stocker les résultats intermédiaires utiles à certains outils. A chaque fois qu'un outil nécessite de calculer une donnée susceptible d'être utile à plusieurs outils, il demande au gestionnaire s'il la possède afin de ne pas la recalculer. Si le gestionnaire ne possède pas encore cette valeur, l'outil doit savoir la calculer et doit dire au gestionnaire qu'il vient de la calculer en lui donnant le résultat de son calcul. Certaines données peuvent être accompagnées d'un niveau de précision de leur évaluation pour pouvoir remplacer une donnée imprécise ou ne pas écraser une donnée plus précise.



## 4.2 Paramétrisation

Chaque outil nécessite fréquemment un ou plusieurs paramètres. Ces paramètres peuvent être calculés par deux méthodes différentes :

- Paramètres fixés : les paramètres ne sont évalués qu’une seule fois au début du processus de raffinement. Il peuvent être directement manipulables grâce à une interface graphique ou fixés par l’utilisateur. La paramétrisation de certains outils de l’oracle permet un contrôle manuel précis à différents niveaux.
- Paramètres calculés : les paramètres sont calculés à chaque exécution de l’outil par une méthode définie par le concepteur du raffineur. Ceci permet de faire varier la paramétrisation au cours du processus de raffinement, donc d’adapter localement et automatiquement le raffinement aux spécificités de la scène.

## 4.3 Avantages de la structure utilisée

La structure de graphe et la puissance de l’encapsulation de la programmation objet possèdent intrinsèquement de nombreux avantages, voici ceux que nous exploitons principalement :

- Modularité : tous les outils répondent à un même schéma de conception, ce qui guide la création des nouveaux outils.
- Evolutivité : un des plus gros avantage de la modularité et de pouvoir ajouter à foison de nouvelles fonctionnalités, c’est par exemple le principe recherché pour pouvoir ajouter, à un moment ou à un autre, des outils fonctionnant sur l’aspect temporel de la radiosité.
- Raffinement sélectif : en fixant un émetteur et un récepteur il est possible d’exécuter l’oracle de raffinement sur un seul lien pour déterminer localement les effets du raffinement.
- Suivi d’exécution : l’impression de chaque noeud et de sa réponse permet un suivi de chaque branche de raffinement au cours du processus de raffinement.
- Recherche d’erreurs : le suivi d’exécution associé au raffinement sélectif permet de trouver rapidement les causes d’un raffinement trop important ou trop faible.
- Vérification : après chaque génération de graphe de décision il est possible de vérifier que chaque noeud possède le bon nombre de paramètre et que chaque réponse est suivie par une question ou une décision. Ceci permet de garantir la validité du graphe de décision.
- Statistiques : il est possible de comptabiliser le temps passé dans l’exécution de chaque noeud ou le nombre d’exécutions de ceux-ci. Ces statistiques permettent rapidement de déterminer les goulots d’étranglement d’un oracle de décision.
- Visualisation : la visualisation d’une structure arborescente est très parlante pour l’humain, elle permet en un seul schéma intelligible de représenter un oracle complexe.
- Génération d’interface : chaque outil possédant sa propre interface liée à ses paramètres, il est aisé de générer automatiquement une interface en fonction des outils utilisés dans le graphe.

Le processus d’exécution d’un graphe est un peu plus long (cf. section 4.4) car c’est un processus récursif. Il demande, à chaque exécution d’un noeud, la recherche dans sa table de descendants du prochain noeud à exécuter. Il est heureusement possible d’établir une version itérative de l’algorithme. Ceci est réalisé par un générateur de code qui crée un nouveau raffineur contenant la version ”mise à plat” du processus de raffinement.

## 4.4 Validation et temps d’exécution

La plateforme utilisée pour le développement de cette structure est un logiciel de radiosité interne au laboratoire GRAVIR, dont le critère de raffinement jusqu’alors utilisé était le critère BF. Le premier travail de validation de la structure de graphe de décision a été de recréer l’existant. Voici le graphe correspondant au critère BF (Fig. 5). Ainsi qu’une étude des temps d’exécution du graphe, de la version itérative générée et de l’ancien critère.

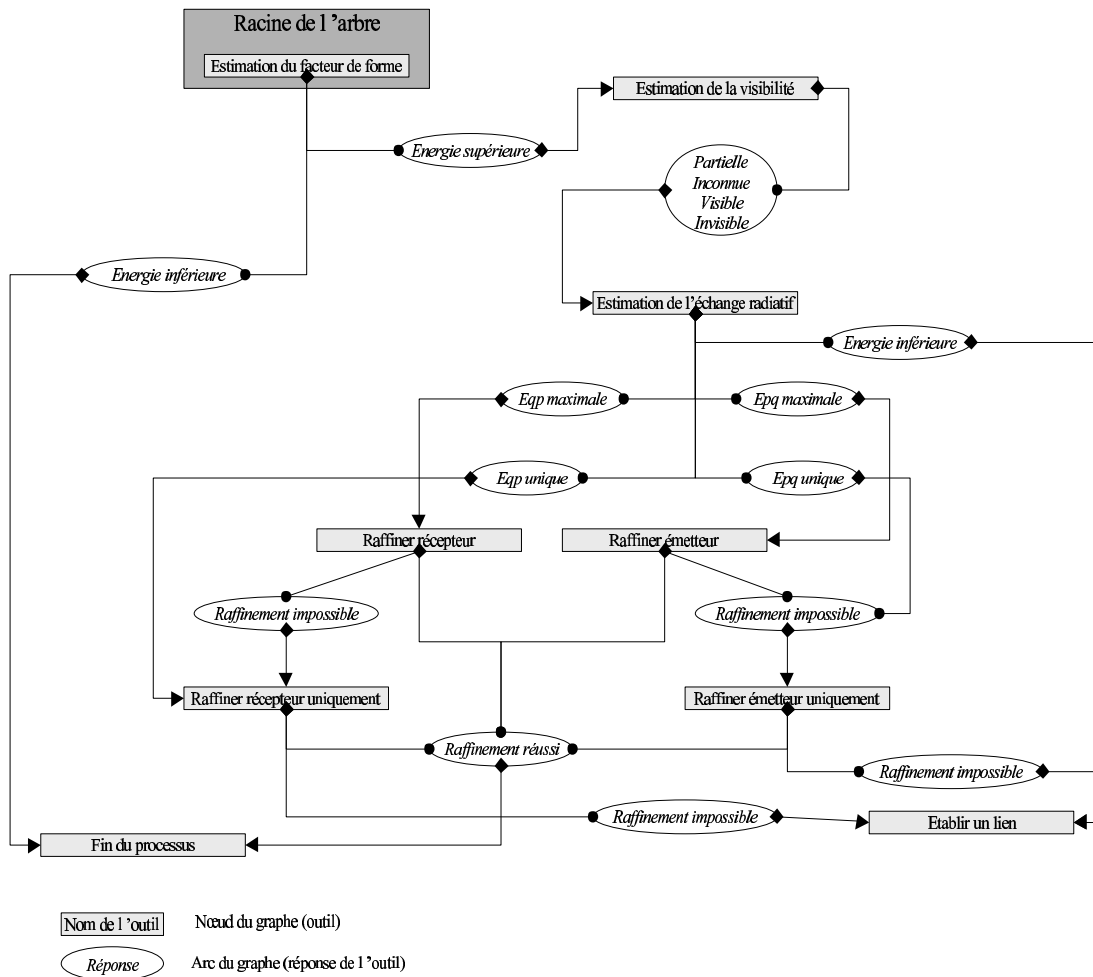


FIG. 5: Graphe de décision du critère BF.

Les scènes de test utilisées possèdent chacune leur caractéristiques :

- Room : scène d'intérieur très simple ne possédant que très peu de problèmes de visibilité.
- TD : scène d'intérieur constituée d'objets de tailles hétérogènes. Visibilité moyenne.
- Maze : petite scène de labyrinthe, facteur de visibilité très élevé.
- Soda : scène complexe d'intérieur, facteur de visibilité assez élevé.
- Séjour : scène complexe d'intérieur avec des objets de taille hétérogènes et un facteur de visibilité élevé.

Le nombre de polygones donné est le nombre de polygones avant raffinement.

	Room	TD	Maze	Soda	Séjour
Nombre de polygones	397	5260	313	77286	53875
BF	0,70 s.	2,30 s.	24,47 s.	83,70 s.	164,23 s.
<b>version récursive</b>	1,07 s. +53%	3,40 s. +48%	43,50 s. +78%	93,80 s. +12%	183,90 s. +12%
<b>version itérative</b>	0,80 s. +14%	2,47 s. +7%	26,47 s. +8%	84,27 s. +1%	167,490 s. +2%

On remarque que la perte de temps est relative à la complexité de la scène, l'écart se réduisant progressivement pour obtenir des augmentations de l'ordre de 10% dans la version récursive et quasiment nulles pour la version itérative. Par contre pour des scènes de faible complexité, le temps induit par la structure n'est plus négligeable devant le temps propre du processus de

raffinement. A terme, le but étant de travailler avec des scènes réalistes complexes, le très faible surcoût n'est pas pénalisant. Les résultats visuels et quantitatifs obtenus par la structure du graphe de décision, comparés à ceux obtenus par le critère initial, sont strictement identiques et valident intégralement la fonctionnalité de celle-ci. La création de nouveaux graphes de décision est actuellement en cours de développement, notamment dans le cadre du projet européen ARCADE, sur l'intégration d'outils spécifiques à des surfaces gauches ou des sources très étendues telles que le ciel.

## 5 Conclusion

Malgré le problème central de la radiosité hiérarchique qu'est le raffinement progressif, il n'existe pas actuellement de structure simple pour créer, tester et évaluer un raffineur. Nous proposons dans ce papier une structure arborescente qui, avec une perte de temps quasiment négligeable, apporte de nombreuses facilités à l'élaboration de nouveaux critères. Gr ce à la paramétrisation des outils, il est possible d'imaginer un système d'apprentissage de raffinement semi-automatique : avec une liste d'outils à utiliser, une solution de graphe initiale, des contraintes de séquentialité d'outils, et un jugement de l'utilisateur sur le résultat, un système générant un nouveau graphe de décision par propagation inverse de l'erreur commise dans le graphe, permettrait d'espérer converger vers le graphe idéal attendu par l'utilisateur. Le problème délicat restant de savoir évaluer l'erreur commise...

## 6 Bibliographie

### Références

- [Buc27] H. Buckley. On the radiation from the inside of a circular cylinder. *Philosophical Magazine Series 7*, 4(23) :753–762, October 1927. one of the first papers on Fredholm integrals in radiative transfer theory.
- [DS99] C. D mez and F. Sillion. Space-time hierarchical radiosity for high-quality animations. In *Rendering Techniques '99*, pages 235–246, New York, NY, 1999. Springer Wien.
- [GTGB84] Cindy M. Goral, Kenneth K. Torrance, Donald P. Greenberg, and Bennett Battaile. Modelling the interaction of light between diffuse surfaces. *Computer Graphics*, 18(3) :213–222, July 1984.
- [HDSD99] Jean-Marc Hasenfratz, Cyrille D mez, Francois Sillion, and George Drettakis. A practical analysis of clustering strategies for hierarchical radiosity. In *Computer Graphics Forum (Proc. Eurographics '99)*, volume 18, September 1999. To appear.
- [Hig34] H. H. H gbie. *Lighting Calculations*. John Wiley & Sons, New York, NY, 1934.
- [HS67] Hoyt C. Hottel and Adel F. Sarofim. *Radiative Transfer*. McGraw Hill, New York, NY, 1967.
- [HS90] Pat Hanrahan and David Salzman. A rapid hierarchical radiosity algorithm for unoccluded environments. In *Proceedings Eurographics Workshop on Photosimulation, Realism and Physics in Computer Graphics*, pages 151–71, Rennes, France, June 1990.
- [HS98] Nicholas Holzschuch and Francois. X. Sillion. An exhaustive error-bounding algorithm for hierarchical radiosity. *Computer Graphics Forum*, 17(4) :197–218, December 1998.
- [HSA91] Pat Hanrahan, David Salzman, and Larry Aupperle. A rapid hierarchical radiosity algorithm. *Computer Graphics*, 25(4) :197–206, July 1991.
- [HSD94] Nicolas Holzschuch, Francois Sillion, and George Drettakis. An Efficient Progressive Refinement Strategy for Hierarchical Radiosity. In *Fifth Eurographics Workshop on Rendering*, pages 343–357, Darmstadt, Germany, June 1994.

- [KJW93] Arjan J. F. Kok, Frederik W. Jansen, and C. Woodward. Efficient, Complete Radiosity Ray Tracing Using a Shadow-Coherence Method. *The Visual Computer*, 10(1) :19–33, 1993.
- [LSG94] Dani Lischinski, Brian Smits, and Donald P. Greenberg. Bounds and error estimates for radiosity. *Computer Graphics*, 28(Annual Conference Series) :67–74, July 1994.
- [NON85] T. Nishita, I. Okamura, and E. Nakamae. Shading models for point and linear sources. *ACM Transactions on Graphics*, 4(2) :124–146, April 1985.
- [SAG94] Brian Smits, James Arvo, and Donald Greenberg. A clustering algorithm for radiosity in complex environments. In Andrew Glassner, editor, *Proceedings of SIGGRAPH '94 (Orlando, Florida, July 24–29, 1994)*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pages 435–442. ACM SIGGRAPH, ACM Press, July 1994. ISBN 0-89791-667-0.
- [SAS92] Brian E. Smits, James R. Arvo, and David H. Salesin. An importance-driven radiosity algorithm. *Computer Graphics*, 26(2) :273–282, July 1992.
- [Sil94] Francois Sillion. Clustering and Volume Scattering for Hierarchical Radiosity Calculations. In *Fifth Eurographics Workshop on Rendering*, pages 105–117, Darmstadt, Germany, June 1994.
- [TG97] Nicholas Tsingos and Jean-Dominique Gascuel. Sound rendering in dynamic environments with occlusions. In Wayne A. Davis, Marilyn Mantei, and R. Victor Klassen, editors, *Graphics Interface '97*, pages 9–16. Canadian Information Processing Society, Canadian Human-Computer Communications Society, May 1997. ISBN 0-9695338-6-1 ISSN 0713-5424.
- [Yam26] Zito Yamauti. The Light Flux Distribution of a System of Interreflecting Surfaces. *Journal of the Optical Society of America*, 13 :561–571, November 1926.